

Az idegrendszer törzsfejlődése

Részlet

Az ingerekre való reagálás az élő sejtek alapvető tulajdonsága. Az egysejtű (Protozoa) szervezetek a különféle ingerekre leginkább mozgással válaszolnak. Bonyolult, összerendezett mozgás csak a csillósokon figyelhető meg. Ezt a rendezett mozgást a test hátsó részéről induló ingerületi hullám tartja fenn. Az ingerek képződésére és vezetésére vonatkozóan jelenleg nincs egységes, elfogadható magyarázat. A klasszikus leírásokból ismert, ún. neuronema rendszerről ma már tudjuk, hogy nem egységes struktúra, s egészében nem tekinthető idegrendszernek. Ezüstsókkal, miként azt az elektronmikroszkópos vizsgálatok kiderítették, a kinosomák, a pellicula alveolaris membránjai, valamint a kinetodesmalis fibrillumok is festődnek. Nem zárhatjuk ki azonban annak lehetőségét, hogy az egyes elemek fontos szerepet játszhatnak az ingerületvezetésben.

A mai álláspont szerint a csillók összerendezett mozgásáért feltehetően maga az erre specializálódott sejtmembrán a felelős, ami e tekintetben nem különbözik egy idegsejt membránjától.

Szivacsok (Porifera). Nincsenek idegelemeik. Kontrakcióra képes sejtjei, valamint mirigysejtjei „független effektorok”. Ezek olyan sejtek, amelyek egy része ingert képes fel fogni, míg más része erre választ ad. A szivacsostest epithelsejtjei az ingerületvezetésre képesek. Kísérletekkel bizonyított, hogy az állatok közvetlen környezetükben megérik a különböző ingerekre és erre pórusaik, illetve osculumuk szűkítésével, illetve zárásával válaszolnak. Ezek a sejtek igen lassan (1 cm/min), vezetnek az ingerületeket. A Metazoa (többsejtű állatok) fejlődését követve megállapítható, hogy itt előbb jelenik meg az ingerületvezetés képessége, mint az a rendszer, amelyre ez a tulajdonság különösen jellemző.

Az idegrendszer megjelenése és fejlődésének irányai

A szivacsoknál az ideg- és izomrendszer hiányzik, a csalánozóknál már mindkettő megfigyelhető. Ez a különbség összefüggésbe hozható táplálkozási típusaikkal, illetve a táplálék megszerzésével.

A „Biológiai szabályozó rendszerek” című könyv a szervezet főbb szabályozó rendszereinek – endokrin rendszer, idegrendszer, immunrendszer – egységes, elsősorban funkcionális szemléletű összefoglalása. Bevezetőjében a könyv röviden foglalkozik a szabályozás legáltalánosabb elméleti ismereteivel, majd a biológiai szabályozás általános kérdéseivel. Ezután áttekinti mind az endokrin rendszer, mind az idegrendszer filogenetikai fejlődését, de a fő hangsúlyt a gerincesekre és ezen belül is az emlősökre helyezi. A könyv biológus hallgatóknak írt, interdiszciplináris ismereteket nyújtó összefoglaló mű, amely bizonyos alapvető állatszervezetani, szövettani, élettani, biokémiai és genetikai előismereteket tételez fel. A könyv ajánlható olyan középiskolai biológia tanároknak is, akik oktató munkájuk során a kötelező gimnáziumi tananyagnál többet kívánnak nyújtani tanítványaiknak, továbbá orvostanhallgatóknak is, akiknek a könyv ismeretanyaga lehetőséget nyújt az emberi endokrin- és idegrendszer filogenetikai hátterének megértéséhez. Haszonnal forgathatják a könyvet állatorvos hallgatók és mezőgazdasági jellegű egyetemek hallgatói is.

Mint ismeretes, a szivacsok szerves törmelékkel táplálkoznak. A táplálékszemcsék a choanocyták flagellumainak csapkodásával jutnak az ősbélüregbe, ahol részben a choanocyták, részben az amoebocyták abszorbeálják őket.

Ezzel ellentétben a csalánozók ragadozó életmódot folytatnak. A préda elfogása és az ősbélüregbe juttatása az állat bizonyos sejtjeinek gyors és összerendezett működését igényli. Ez pedig idegrendszert és izomzatot feltételez.

A diffúz-, vagy hálózatos idegrendszer

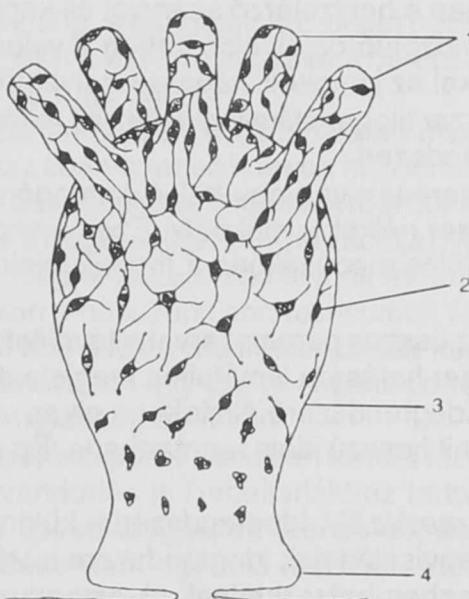
A kutatók egy része szerint, a csalánozók myoepithel- és sensoros sejtjei a szivacsok epithelo-muscularis sejtjeiből további differenciálódással azaz szétválással alakultak ki.

A *Cnidariak* (Csalánozók). Idegrendszerükben különböző idegsejttípusok különíthetők el. Ezek érző- (vagy sensoros) neuronok, amelyek az epithel sejtek között, a többi típus subepithelialisan található. A csalánozók idegrendszerében a sensoros sejteken kívül még három másik típus különíthető el, nevezetesen a ganglion-, a neuroszekréción, valamint az óriásneuronok. A ganglionsejt elnevezés *Schneidertől* (1890) származik, és itt csupán azt jelöli, hogy ezek a neuronok subepithelialis helyzetűek, de nem csoportosulnak ganglionokba. Formájuk alapján lehetnek uni-, bi- és multipolaris sejtek.

A neuroszekréción sejtek, amelyek nagyrészt az ektodermában s kisebb mennyiségben a gastrodermisben találhatók, sajátos vesiculatartalmukról ismerhetők fel. A perikaryon nagy mennyiségű 70-140 nm átmérőjű dense-core típusú vesiculákat tartalmaz. Az óriásneuronok kb. 30 μm nagyságúak, főleg a felszíni plexus alkotói. Legnagyobb mennyiségben a medúzák ideggyűrűjében találhatók. Fotosensitívek és az úszást is ellenőrzésük alatt tartják.

Az említett sejtek nyúlványaikon keresztül kapcsolatot tartanak egymással, de a motoros sejtek kapcsolatban vannak az izomsejtekkel is. Így egy fonadékrendszert (plexus) alakítanak ki, amelyben elszórtan találhatók az idegsejttestek. Ettől eltérést csak a szájnílás, a karok és a talpkorong körüli fonadék mutat, ahol a sejtek sűrűbben fordulnak elő. A karok tövén kialakult sejtcsoportosulásról „ganglionról” feltételezik, hogy „lokális központok”, a karok mozgását koordinálják.

A hydrák diffúz idegrendszere kettős fonadékrendszerből áll, amelyből az egyik az ektodermában, a másik az entodermában helyezkedik el. A két fonadék a szájnílás területén kapcsolódik egymással (1. ábra).



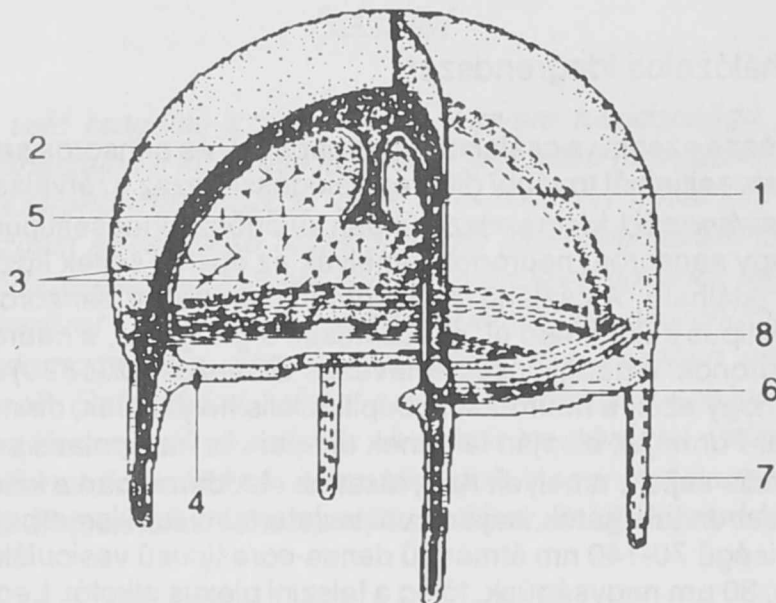
1. ábra

A hydra idegrendszere.

1. karok; 2. idegsejtek; 3. törzs; 4. talp

A csalánozók idegrendszere képviseli a törzsfajlásban az *ősi típust*. Itt nincsenek igazi központok, s nincs perifériás rész sem. A rendszeren belül az ingerület minden irányba terjed, valamivel gyorsabban, mint a szivacsokban (4-5 cm/s).

A medúzák idegrendszere eltér a polyp-formák idegrendszerétől. Ezeknek az állatoknak érzékszerveik is vannak, és mozgásuk is sokkal bonyolultabb. Így a hydromeduzákon az ernyő alatt két gyűrűalakú megvastagodás figyelhető meg. Ezek széli részein pedig dúcok (ganglionok) jelennek meg (2. ábra).



2. ábra

Hydromedusa (Hydrozoa) idegrendszere

1. manubrium, 2. sugárcsatorna, 3. idegfonadék, 4. velum, 5. szájnílás, 6. belső ideggyűrű, 7. tentaculum, 8. külső ideggyűrű

A felső gyűrű viszonylag kevesebb ganglionsejtet (főleg multipolaris sejtet) tartalmazó finom rostokból álló, viszonylag lassú ingervezetésű rendszer. Elsősorban fényérző szervekkel (ocellus), és a korongszéli tapogatókkal áll kapcsolatban.

Az alsó gyűrű több, kisebb gangliont tartalmaz, ahol a sejtek többsége bipolaris. Agyűrű rostjai vastagabbak, mint az előzőé. Ez a rendszer gyors vezetésű. Néha, mint pl. a csalánsávós medúzákban (*Aglantha digitale*) óriásaxonok is kapcsolódnak hozzá. A lassú és a gyors vezetésű rendszerek cellularis mechanizmusai pontosan nem ismertek.

Az alsó gyűrű elsősorban a helyzetérző szervvel áll kapcsolatban, azaz ettől kap rostokat, s az innen induló mozgatórostok elsősorban a velum és a subumbrella izmaihoz mennek. Az állatok ezekkel az izmokkal képesek helyzetüket változtatni.

A lassú vezetésű rendszer filogenetikailag ősbibb, és feltételezik, hogy ellenőrzése alatt tartja a gyors vezetésű rendszert.

A medúzák idegrendszerének van egy belső (endogén) ritmus- és impulzusképzési képessége, ami külső inger nélkül is működik. Ezek a spontán mozgásokat kiváltó pacemakerközpontok pl. a füles medúzákban a rhopaliumokban (ernyőszéli peremtestekben) vannak.

Ha a medúza testéről az összes peremszervet eltávolították, az állat spontán mozgásai megszűntek, de külső inger hatására ismételten megjelentek. Ez arra utal, hogy a külső inger, a nagyjából diffúz idegrendszerű állatokban olyan változást képes előidézni, ami az állat stereotip mozgásait hosszú ideig fenntarthatja. Ép állatokban ezt a változást rhopaliumok idézik elő.

Ctenophorák (Bordás medúzák). Idegrendszerük különösen érdekes, mert miként a csalánozóké, e törzset képviselő fajok idegrendszere is *diffúz rendszer*. A testben található plexusok három rétegben helyezkednek el, egy az epidermisben, ez a subepidermalis, a másik a mesogleában, ez az ún. intramesoglealis, a harmadik a gastrodermisben levő subgastrodermalis plexus. A subepithelialis plexus egy száj körüli gyűrűt formál, pl. a Beröe-ban, és a test bordáinak megfelelően a fonadék nyolc meridionális csík formá-

jában megvastagszik. Ezek a sávok aboralisan haladnak, majd a statocysta előtt kettésével összeolvadnak.

Plexusok a magasabbrendű állatokban a perifériás idegrendszerben is megtalálhatók. Ezek koordinálják a simaizom, illetve a secretiós sejtek működését.

A centralizált idegrendszer kialakulása

A dúcidegrendszer kialakulása és változásai a törzsfejlődés során

Az idegrendszer evolúciója folyamán, amikor a neuronok dúcokba (*ganglionba*) rendeződnek, alakulnak ki a pályák, amelyekben az idegrostok ingerületvezetési iránya meghatározott. A dúcok közül az elülsők (a feji végen) aggyá alakulnak. Ezt a fejlődési vonalat követhetjük nyomon a gerinctelen állatok idegrendszerének alakulása folyamán.

Lapostérgek (Platyhelminthes). Itt már megkezdődik az idegsejtek csoportosulása, vagyis az igazi *ganglionok kialakulása*. A ganglionokat hosszanti idegkötegek *connectivumok* kapcsolják össze, ezeket pedig harántidegek (*commissurák*). Az ilyen idegrendszert „derékszögelt” *orthogonális rendszernek* nevezzük. A ganglionok és az ezeket összekötő fő idegtörzsek kezdetben az epidermisben, tehát keletkezési helyükön találhatók, később fokozatosan a testüregbe vándorolnak.

Turbellariák (Örvényférgesek). A közéjük tartozó *Acoela* (Bélüreg nélküliek) rendjének idegrendszere a csalánozók diffúz idegrendszerével mutat nagyfokú hasonlóságot. A test felszínén az epidermiszsejtek alatt egy ún. subepithelialis plexus figyelhető meg, amelynek a test elején levő része fejlettebb, azaz több sejtet tartalmaz, hiszen az állatot úszáskor több, s újabb ingerek érik. Ez a jelentős sejtcsoportosulás az agy (*ganglion cerebrale*), amelyből több hosszanti idegköteg ered. Ezek száma már a hengeresférgekben csökken, s a gyűrűsférgekben és az ízeltlábúakban pedig már csak két hosszanti idegköteg marad meg, amelyeket harántágak kötnek össze.

Az agydúc megjelenése és felépítése új jelenség. Kialakulására vonatkozóan nincs egységes elképzelés. Egyesek szerint a feji érzékszervek koncentrációjából, mások szerint a hosszanti idegkötegek elülső részének megerősödéséből vezethető le.

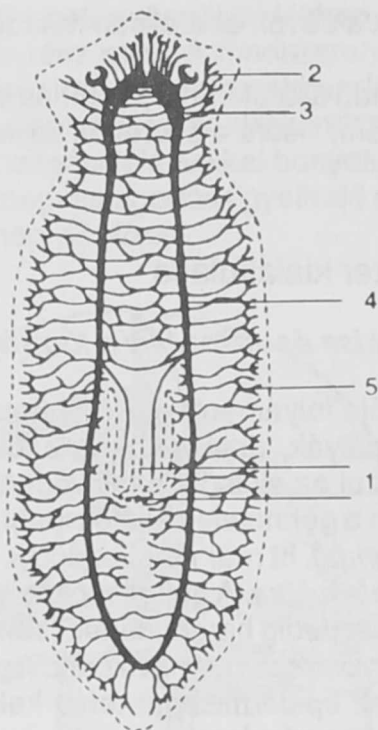
Agydúc azokban az állatokban jön létre először, amelyeknek jellemző mozgásirányuk van. Az ingerek legtöbbje a test elülső részét éri. Kialakul a fej és benne az agydúc, amelynek legfontosabb feladata az ingerek, illetve az információk feldolgozása és integrálása. Az agydúc és a feji érzékszervek szoros filogenetikus kapcsolatára embriológiai vizsgálatok is utalnak.

A dúc szerveződése is új jelenség. A ganglionokat alkotó neuronok a dúcok perifériáján helyezkednek el, nyúlványaik illetve ezek szövedéke a centrálisan elhelyezkedő neuropilema. A neuropilema fontos integratív rész.

A primitív diffúz idegrendszer fejlettebb Turbellariákban már orthogonális rendszerré alakul (*3. ábra*). A testben hosszában connectivumok húzódnak, amelyeket harántirányban commissurák kapcsolnak össze. Ebben a rendszerben kisebb-nagyobb idegsejtcsoportok (ganglion) alakulhatnak ki (idegsejtek centralizációja). A *centralizáció* a Turbellariákban kialakult orthogonális idegrendszeren belül más formában is megfigyelhető, nevezetesen abban, hogy csökken a hosszanti connectivumok és a harántirányú commissurák száma. Ezt az állapotot képviseli a Macrostomaidák közé tartozó *Macrostomum finlandense* idegrendszere, amit csak egy pár hosszanti connectivum és egy commissura alkot. Ez utóbbi a garat magasságában van.

Az idegrendszer centralizációjával párhuzamosan történt meg az idegelemek áthelyeződése (*migrációja*) is. Ez a vándorlás a Turbellariákhoz tartozó különböző fajokon jól nyomon követhető. Az eltérő típusú idegsejtek (sensoros, asszociációs és effectoros idegsejtek) testüregbe süllyedése nem egyenlő mértékű. Először a motoros, majd az asszociációs sejtek kerülnek a testüregbe, a sensoros sejtek továbbra is a test felszínén találhatók.

Az említett két jelenséggel, nevezetesen a centralizációval és a migrációval párhuzamosan nyomon követhető az agy szerepének növekedése, valamint a hasi ganglionok



3. ábra

A füles planaria (Planaria gonocephala) idegrendszere hasoldalról.

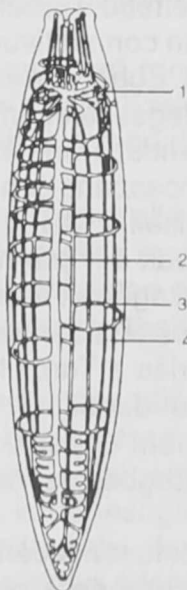
1. pharynx, 2. szem, 3. ggl. cerebrale, 4. connectivum, 5. idegfonadék

és az agydúc külső kérgi, és belső neuropil állományának kialakulása és szerkezetük bonyolultabbá válása is.

A fejlődés elsősorban azt jelenti, hogy a neuropil állomány jelentősen növekszik, ugyanis a különböző érzékszervekből a sensoros sejtek axonjai ide vezetnek az ingerületet. (A test felszínének többi részéről az ingerület a connectivumokba jut.)

Az agydúc bilateralitása is ősi sajátosság. Laposférgekben pl. a test jobb oldalán keletkező ingerületek a jobb agydúcba, a bal oldalon keletkezettek pedig a bal agydúcba érkezik. Az agyban kevés kereszteződő rost van, jelentőségük ennek ellenére igen nagy. Hiányukban a testfelszínt ért ingerekre adott válaszreakciók az egész szervezet szempontjából nem lennének kielégítőek. A fejlődés kezdetén ez az agy még kevésbé befolyásolja az idegrendszer többi részének működését, szerepe később természetesen jelentősen megnő.

Nematoideák (Fonalférgek). Formailag orthogonális idegrendszerük van, ami garatidegyűrből és a belőle kiinduló nyolc hosszanti idegtörzsből áll (4. ábra), amelyek közül négy a hypodermislécben húzódik. Érdekes, hogy nincs igazi agyuk. Az amit agydúcnak



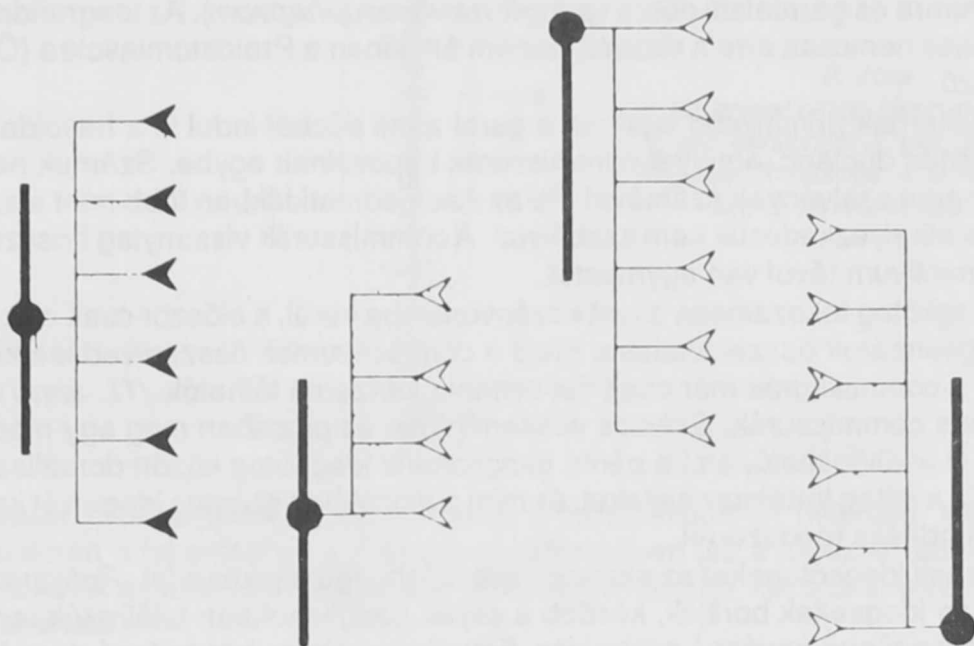
4. ábra

Az Ascaris idegrendszere.

1. garat körüli gyűrű,
2. ventrális ideg,
3. harántideg,
4. dorsalis ideg

neveznek nem más, mint az első commissura megvastagodása. A garatideggyűrű dorsalis részébe még két, nagyon kicsi subdorsalis ganglion is beiktatódik. Szorosan a garatideggyűrű előtt hat dúc helyezkedik el. Ezek a papilladúcok, amelyek közül kettő lateralis és négy medialis pozíciójú. A hosszanti connectivumokon igazi ganglionok nem találhatók, a sejtek a connectivumok teljes hosszában elszórtan fordulnak elő.

Morfológiailag a Nematodák központi idegrendszerében a sejtek nagyrészt bi-, kisebb számban multipolárisak. A multipoláris motoneuronok excitatoricus vagy inhibitoricus hatást egyaránt elérhetnek az izmon. A dorsalis motoneuronok néhány típusát mutatja az 5. ábra.



5. ábra

Motoneuronok az Ascaris dorsalis idegkötegéből (magyarázat a szövegben)

A motoneuronok tipizálhatók annak alapján, hogy a motoneuron a test (fekete kör) melyik irányából kap afferens- (vastag vonalak), továbbá, hogy merre küld efferens (vékony vonalak) ingerületet, és hogy ezek milyen jellegűek (a világos sejtek háromszögek excitatorikusak, a sötétek inhibitorosak). Mind ez ideig a GABA-t, mint gátló transzmittert azonosították egyes motoneuronokban.

Nemertoidea (Zsinórférgek). Agyuk már igen bonyolult. Érdekesség, hogy az agyban először itt találunk asszociációs idegsejt-csoportosulást, ami emlékeztet az Articulaták agyának asszociációs központjára, a glomerulusokra.

A szelvényezettlen testű férgek egyes képviselőinek idegrendszerében óriásrostokat írtak le. A *Phoronidiákra* vonatkozóan vannak némi ismereteink: átmérőjük 25-35 μm , vezetési sebességük pedig 5-6 m/s.

Gyűrűsférgek (Annelida). Idegrendszerük nagy valószínűséggel a laposférgek idegrendszeréből származtatható. Szelvényes elrendeződésére vonatkozóan az elképzelések nem egyformák, jelenleg két elmélet látszik a legelfogadottabbnak:

- az egyik szerint ez a szelvényes idegrendszer olyan ősi formából keletkezett ahol számos commissurával rendelkezett a hasi dúclánc;
- a másik elképzelés szerint, a szelvényezettség a trochophoraszerű ősök idegrendszeréből vezethető le. Ismert, hogy a trochophoralárva idegrendszeréből három ideggyűrű van, s lehetséges, hogy ezek sokszorozódtak meg.

Idegrendszerük megjelenésére és szerkezetére vonatkozóan is két fő tendencia érvényesül:

- az idegrendszer migrációja, azaz a testfelszínről (subepithelialis elhelyezkedés) fokozatosan a testüregbe vándorol;
- az idegrendszer további centralizációja.

Az Annelidák közé tartozó fajok nagy részében a központi idegrendszer már szabadon, a testüregben található (pl. földigiliszta, orvosi pióca). Ezzel szemben számos Archannelida (Ó-gyűrűsférgek) és Phyllodocidae fajokban, valamint az Oligochaetákhoz tartozó Aeolosomatidákban még basoepithelialis pozíciójú. E két szélsőséges megjelenés mellett találunk olyan átmeneti formákat is, ahol a dúclánc a testfal izomzata között, illetve alatt helyezkedik el.

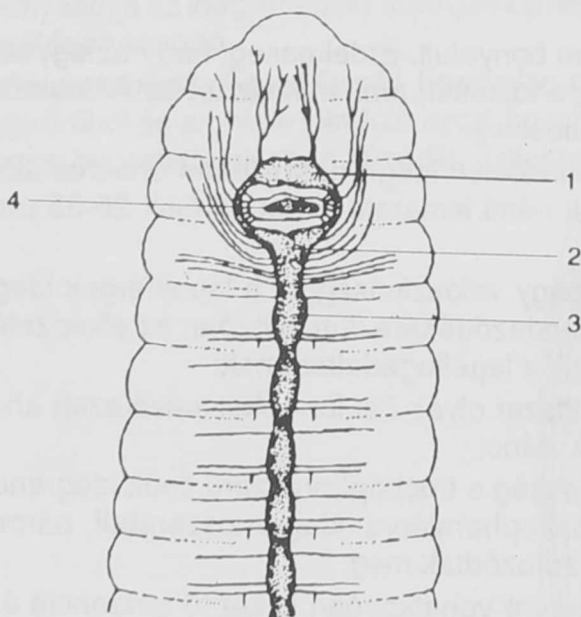
A testüregben szabadon elhelyezkedő hasdúcláncrendszer főbb részei, a testen végig húzódó ventralis dúclánc, és a test elülső részében elhelyezkedő garatideggyűrű, ami tovább tagolható agyra (*ganglion cerebrale*, vagy *ganglion supraoesophageum*), garat-connectivumra és garatalatti dúcra (*ganglion suboesophageum*). Az idegrendszernek ez a tagolódása nemcsak erre a törzsrre, hanem általában a Protostomiasokra (Összájúakra) jellemző.

A gyűrűsférgek primitívebb fajaiban a garat alatti dúcból indul ki a hasoldalon végig húzódó kettős dúclánc, amelyet commissurák kapcsolnak egybe. Számuk nem mindig egyezik meg a szelvények számával. Pl. az Aeolosomatidákban több mint a szelvények száma, és elhelyezkedésük sem szabályos. A commissurák viszonylag hosszúak, mivel a két connectivum távol van egymástól.

A két idegköteg fokozatosan a test középvonalába kerül, s először csak a szelvényenkénti ganglionpárok összeolvadása, majd a connectivumok összeolvadása következik, amikor is a commissurák már csak szövettani metszeten láthatók (11. ábra) mint interganglionaris commissurák. Számos soksertéjűben és piócában még egy medialis connectivum is elkülöníthető, ami a páros ganglionaris idegköteg között dorsalisán helyezkedik el. Ez a köteg tartalmaz sejteket, és mint a piócákban számos idegen át kapcsolatot tart a stomodeális rendszerrel.

A hosszanti idegkötegeket az alacsonyabb fejlettségű fajokban (pl. *Polygordius*) teljes hosszukban idegsejtek borítják, később a sejtek ganglionokban találhatók, amelyek elhelyezkedése többé-kevésbé szabályos. Egyetlen szelvényhez tartozó dúcpár és a belőle kiinduló idegek idegszelvényt, ún. *neurosomitát* képez. Minden dúc a saját szelvényét innerválja, de pl. a Lumbricidae családban ismert, hogy a ganglionok nemcsak saját, hanem kismértékben a két szomszédos szelvényt is beidegeznek.

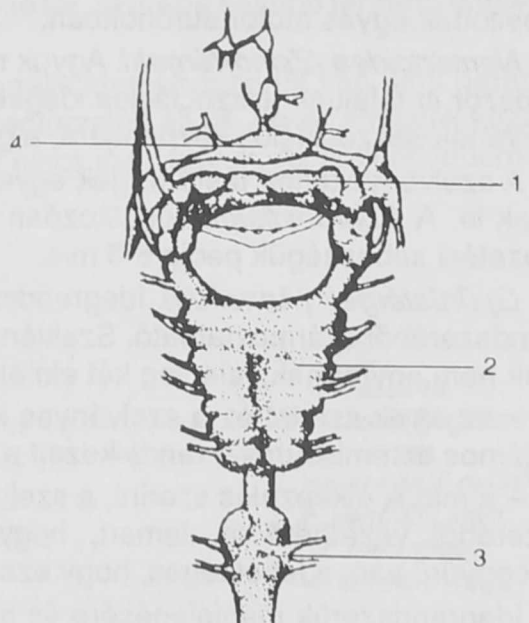
Gyűrűsférgeken jelentős mértékű dúcösszeolvadás is megfigyelhető. Néha az egymás utáni ganglionok fuzionálnak. Így pl. a földigilisztában a garatalatti ganglion 2-3, míg piócáknál 4 dúcból olvadt össze (6-7. ábrák).



6. ábra

A földigiliszta (*Lumbricus*) idegrendszere.

1. agydúc, 2. garatalatti dúc,
3. hasdúc, 4. garat

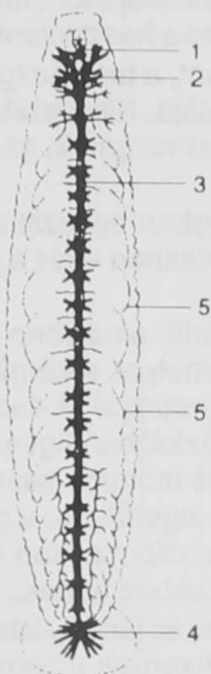


7. ábra

Az orvosi pióca garatideggyűrűje.

1. agydúc, 2. garatalatti dúc, 3. hasdúc,
4. a vegetatív idegrendszer központi része

Sokszor megfigyelhető, hogy a test hátsó részén levő ganglionok azelőbbi szelvényekbe csúsztak (*Tubificidae*), vagy a piócákban az utolsó 7 szelvény ganglionjai egy nagy, ún. analis gangliont alkotnak (8. ábra).

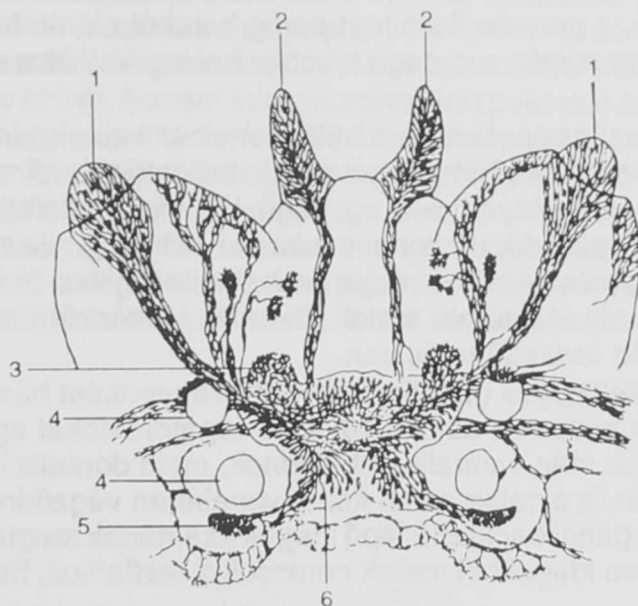


8. ábra

Az orvosi pióca idegrendszere.
1. ggl. cerebrale, 2. ggl. suboesophageale, 3. hasdúc, 4. analis ganglion, 5. emésztőkészülék

Polychaeták (Soksertéjűek). Agyuk, amely a prostomiumban található, kétlebenyű. Oligochaetákban a fej erőteljes redukciója következtében (ez a fokozott redukció különösen vonatkozik a prostomiumra) az agy már sokkal hátrább, kb. a 3. szelvény magasságában található.

A soksertéjűek agyának három fő része van: előagy (*prosencephalon*), középagy (*mesencephalon*) és utóagy (*metencephalon*). Ez a három szakasz egy dúcpár tagolódásából jött létre. Az előagyból indul a garatconnectivum elülső gyökere. Az előagy a prostomialis palpust, továbbá a stomodeum működését irányítja, a középagy a szemből és a csápokból kap ingerületet. A középagy állományában található az az integratív központ, amely gombatest (*corpora pedunculata*) néven ismert. Oligochaetákból és Hirudineákból teljesen hiányzik. Afferens rostjait a palpusoktól kapja, s efferens rostjai révén a többi agyszakasszal, illetve azok részeivel tart kapcsolatot. A gombatest két fő részre tagolható, nevezetesen a kehelyre (kalap vagy *calyx*) és a tönkre (*pedunculus*). A calyx apró, kromatinban gazdag idegsejteket tartalmaz, ezek mellett számtalan, más agyszakaszról érkező rostot és synapsist is kap. Az utóagy a kemoreceptoros nuchalis (szagló) szervet innerválja (9. ábra).



9. ábra

Polychaeta agy-szerkezete
1. palpus, 2. antenna, 3. corpora pedunculata, 4. szem, 5. nuchalis szerv, 6. neuropil

Az egyes agyszakaszok fejlettsége a beidegzett szervek fejlettségével függ össze. Több kutató véleménye, hogy a Polychaeták agya nem más, mint a ventralis dúclánc első ganglionja.

Külön ki kell emelni az agyban levő óriássejteket, melyek fontos motoros sejtek, nyúlványaik az óriásrostok. *Oligochaetákban* a hasdúclánc teljes hosszán át végigfutnak.

A garat alatti dúc, mint motoros központ, a test mozgásainak irányítója. Ezt a *mozgásirányítást* az agy gátló hatásával módosítja. Kísérletekkel bizonyított, hogy a garatalatti dúc eltávolítása után az állat beszünteti a mozgását, az agy eltávolítása után viszont mozgásuk normális marad.

A ganglionok szerkezete általánosságban egyezik a többi gerinctelen állat ganglion-szerkezetével, de lényegében nagymértékben eltér a gerincesek dúcainak szerkezetétől.

Minden dúcot egy vastag tok vesz körül, amelyben az izomréteg különösen fejlett. A tok alatt helyezkednek el a neuronok, amelyek a kérgi részt adják. Minden ganglionban középen található egy rostállomány, a *neuropil*. A dúc idegsejtjei leginkább a ganglion ventralis oldalán medialis és lateralis pozícióban figyelhetők meg. Funkció tekintetében ezek a sejtek lehetnek: internuncialis- és motoros sejtek. Az afferens rostok, amelyek a perifériáról a sensoros sejtektől hoznak ingerületet, a ganglionokhoz kapcsolódó három pár idegen át érkehetnek. A dúcban dichotomicusan elágazódnak, s rendszerint ipsilaterálisan előbbi, illetve hátrább levő dúcokhoz futnak.

Az internuncialis sejtek ventro-medialis és ventro-lateralis helyzetű főleg unipolaris, kis számban, multipolaris sejtek lehetnek. Axonjaik ugyancsak ipsi-, vagy contralateralisan haladnak a dúclánc további részében.

A motoros sejtek közül csak néhánynak a helye és beidegzési területe ismert. Általában nagy sejtek, amelyek axonja ganglionon belül kereszteződik, s azután hagyja el a dúcot. Közülük az óriás motoneuronok közvetlenül az óriás axonoktól kapnak ingerületet, s továbbítják azt a testfal izomzatához.

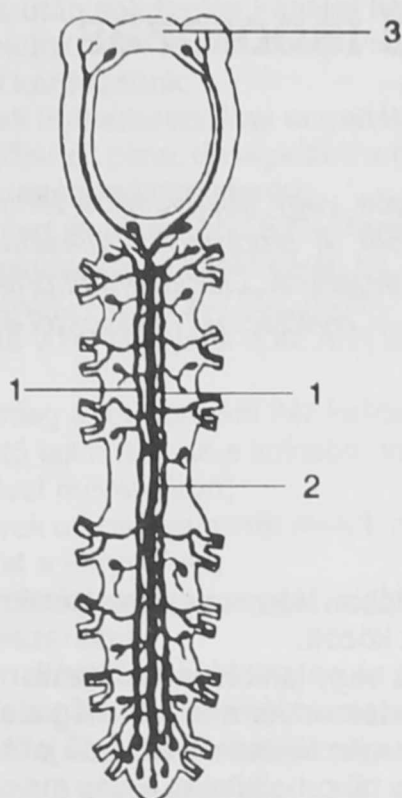
A sensoros információk többnyire nem közvetlenül, hanem interneuronokon át jutnak el a motoros sejtekhez. Az interneuronok teszik lehetővé, hogy a központi idegrendszer többféle érzékszerv ingerületét fel tudja dolgozni, s a szervezet számára a legkedvezőbb választ kialakítani.

A gyors mozgások integrációja szempontjából feltehetően speciális interneuronok, az óriásrostok fontosak, amelyek a gerinctelenek közül az ízeltlábúak és a puhatestűek idegrendszerének is jellemzői.

Polychaeták, különösen az ide tartozó Nereis, idegrendszerében három, a lateralis, a medialis és a paramedialis óriásrost különíthető el. A lateralis óriásrost közvetítésével valósul meg a test gyors megrövidülése akkor, ha az állatot erős inger éri. A reakció mindig bekövetkezik, függetlenül attól, hogy az inger melyik testvégen hatott. Ezzel ellentétes a medialis és paramedialis rostok vezetése. Ezek a rostok szelektív vezetésűek, azaz a medialis óriásrost előlről hátrafelé, a paramedialis rost pedig hátulról előre felé vezet. E két utóbbi óriásrostra jellemző, hogy mindig a gyenge mechanikai ingerek által kiváltott ingerületek haladnak rajtuk végig.

Oligochaetákban ventralis és dorsalis óriásaxonokat különítenek el; ismereteink főleg az utóbbiakra vonatkoznak. Az óriásrostok (3 db) segmentális eredetűek (10. ábra). A szelvényenként kialakult egységek (szelvényenkénti egysége az unipoláris sejt, ami a ganglion ventro-medialis részén helyezkedik el) a hasdúcláncan végigfutó összetartó együttessé kapcsolódnak. Az óriásrostok vezetési iránya amit pl. a földigilisztán végzett vizsgálatokból tudunk, eltérő. A medialis és lateralis rostok közötti kapcsolatról nincsenek ismereteink. A két lateralis rost között összeköttetés van.

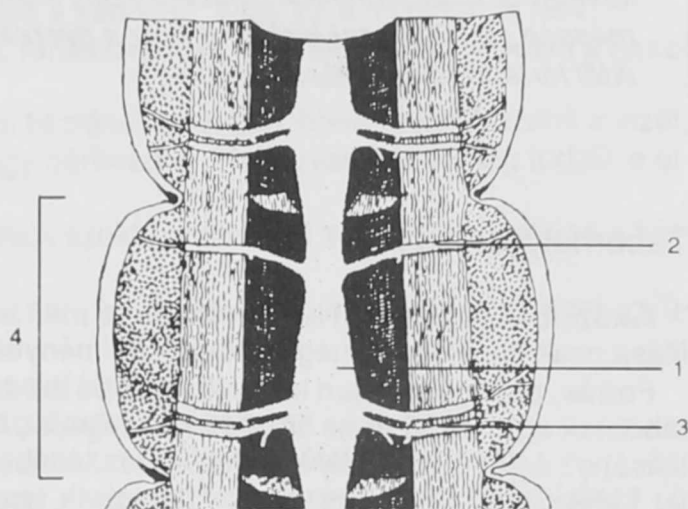
Oligochaetákban a hasdúclánc szelvényes ganglionjaiból szelvényenként három pár ideg ered (11. ábra). Ezek az idegek keverték, azaz érző- és mozgatórostokat egyaránt tartalmaznak. A dúcból való kilépésük után ventralisan haladnak, majd dorsalis irányba a bélcsatorna fölé hajolnak, s a dorsalis oldalon a test középvonalában végződnek. Így érthető, hogy a testszelvényekben a ganglionokból kilépő idegek számának megfelelően ideggyűrűk alakulnak ki. A szelvényes idegekből rostok nemcsak a testfalhoz, hanem a zsigeri szervekhez is mennek.



10. ábra

Óriásrostok a földigiliszta (*Lumbricus terrestris*) hasdúccláncában.

1. laterális óriásrostok, 2. medialis óriásrostok, 3. ggl. cerebrale



11. ábra

Részlet a földigiliszta hasdúcclánc idegrendszeréből.

1. ganglion, 2. magányos ideg, 3. páros ideg, 4. testszelvény

A földigiliszta garatconnectivumából hat pár ideg lép ki, s ezek összekötetésben vannak a garat falában elhelyezkedő ugyancsak hat pár ganglionnal, s ezek pedig az enterális fonadékkal. Ez utóbbiak a stomatogastricus rendszer részei.

A gyűrűsférgek központi idegrendszere fontos szerepet játszik a szív működés szabályozásában is. Ez utóbbit különösen piócákban tanulmányozták. Mint ismeretes a piócának két, cső-formájú szívük van, melyek a testben laterálisan találhatók. A szív működés két formában figyelhető meg. Az egyik formája az ún. peristaltikus mozgás, amelyet a csőszív izomzatának kontrakciója és relaxációja hoz létre. A másik forma a szinkronizált pulzálás, amikor is a két szív váltakozva húzódik össze.

Izolált (segmentális idegeinek átvágása után) a piócaszív mutat ugyan némi pulzálást, de ezek ritkábban jelentkeznek, mint az ép állatban, de a kétféle szív működés nem különíthető el. A szívhez a segmentális idegeken át serkentő és gátló hatású rostok hoznak impulzusokat. Mint az a különböző kísérletekből kiderül, ezek a rostok nem közvetlenül érik el a szívet, hanem interneuronok közbeiktatásával. Ezeknek az interneuronoknak a hálózata felelős ezért a koordinált, szabályozott szív működésért.

A primitívebb gyűrűsférgekhez hasonló, legalábbis idegrendszer vonatkozásában az *Archipodiaták* (*Féreglábúak*) közé tartozó *Onychophorák* (*Karmosak*) idegrendszere. Itt a testen végighúzódozó hosszanti idegkötegek még ganglion nélküliek, de igen jól elkülöníthetők a commissurák, amelyek száma szelvényenként változik, s számuk szélsőséges esetben a tizet is elérheti. A test végén a hosszanti idegkötegek összeolvadnak.

CSOKNYA MÁRIA — LENGVÁRI ISTVÁN